



Análise dos Métodos de Previsão Teórica da Frequência Cardíaca Máxima

Sérgio Antunes Marques

Coimbra, 2009

Sérgio Antunes Marques

Análise dos Métodos de Previsão Teórica da Frequência Cardíaca Máxima

Trabalho de Seminário integrado no plano
de estudos do grau de Licenciatura em
Educação Física, pela Faculdade de
Ciências do Desporto e Educação Física da
Universidade de Coimbra

Orientadora: Prof. Dr^a. Paula Tavares

Coimbra

2009

Agradecimentos

Agradeço:

À minha esposa, Sónia, por me auxiliar nesta minha caminhada, encorajando-me sempre e incentivando-me. Às minhas filhas, Marta Sofia e Ana Luísa, que são uma fonte de felicidade na minha vida.

Aos meus pais, Domingos e Maria Alice, e às minhas irmãs, por mostrarem constante preocupação no alcance do meu sucesso académico.

Aos meus sogros, Manuel Frade e Maria de Fátima, por estarem sempre do meu lado, motivando-me para mais uma etapa na minha vida.

Ao meu amigo e cunhado, Prof. Dr. João Frade, à minha amiga e cunhada, Prof. Dr^a. Mafalda Frade e ao meu amigo e cunhado, Dr^o. Rodrigo Frade, pelo profissionalismo e auxílio na construção de mais esta etapa da minha vida profissional.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a Paula Tavares, pelo incentivo e auxílio em todo o processo construtivo deste trabalho.

Ao meu colega e amigo, Juliano Roque, que me tem acompanhado na minha formação académica, pela parceria e preocupação em todo este processo.

À minha colega e amiga, Carla Pereira, pela preocupação e incentivo que tem demonstrado.

Ao meu colega e amigo, Mestre Pedro Cálix, por sempre ter demonstrado amizade e preocupação ao longo deste trabalho.

Resumo

Frequência cardíaca ou ritmo cardíaco define-se pelo número de batimentos cardíacos por minuto (bpm) e apesar de aparentemente ser um conceito simples, cada vez mais estudos se têm debruçado sobre este parâmetro.

A frequência cardíaca, expressa em batimentos por minuto, depende habitualmente do nódulo sinoauricular (SA), que se encontra situado na parede posterior da aurícula direita do coração.

O período compreendido entre o começo de um batimento cardíaco e o começo do seguinte é chamado de ciclo cardíaco. Cada ciclo é iniciado pela geração espontânea de um potencial de acção no nodo sinusal.

O objectivo deste estudo foi fazer uma breve referência à anatomia do coração, à sua regulação e à análise dos métodos de previsão teórica da frequência cardíaca máxima, confrontando estudos realizados por Tanaka e Karvonen, entre outros.

Muito se fala sobre a frequência cardíaca, nomeadamente, sobre o cálculo da frequência cardíaca ideal para a prática de exercícios físicos.

Numerosos estudos têm relatado a importância da FC na avaliação funcional e na prescrição do treino através da estimativa de parâmetros de aptidão aeróbia, sendo que alguns autores têm proposto modelos que permitem identificar a $FC_{máx}$ de forma indirecta, sem a necessidade de se empregar sessões de exercício máximo, possibilitando assim a prescrição de intensidade de exercício utilizando-se de intensidades relativas a $FC_{máx}$.

Um dos modelos indirectos mais conhecidos envolvendo a FC é o que determina a predição da $FC_{máx}$ a partir da equação $FC_{máx} = 220 - \text{idade}$.

Também a autoria desta equação tem suscitado algumas dúvidas, apontando para Karvonen et al, no entanto, ele nunca publicou a pesquisa original desta fórmula, tendo recomendado que se investigasse o trabalho do doutor Astrand, para encontrar a pesquisa original.

Outra questão que se tem levantado é a eficácia em determinar a FC Max para as diferentes idades. Observou-se que na maioria das pesquisas há uma tendência em sobreprever a FCmax de indivíduos jovens e de subprever em indivíduos idosos.

Como conclusão, a equação $FC_{Max} = 220 - \text{idade}$, subestima a FC Max após os 40 anos, propondo-se uma equação de regressão para estimar a FC máx, $FC_{Max} = 208 - 0.7 \times \text{idade}$, para adultos são.

Contudo não existem dúvidas quanto à realização de mais pesquisas sobre equações de previsão de FC Max, envolvendo outras variáveis (estado de saúde, condição física e modalidade praticada).

Palavras chave: Regulação cardíaca, equações de estimativa, frequência cardíaca, frequência cardíaca máxima

Summary

Cardiac frequency or cardiac rhythm is defined by the number of cardiac beats per minute (bpm) and, although being a simple concept at a first sight, more and more studies have focused on this parameter.

The cardiac frequency, expressed in beats per minute, usually depends on the activity of the sinoauricular nodule (SA), which is situated in the posterior wall of the right auricle of the heart.

The period between the beginning of a cardiac beat and the beginning of the next one is called cardiac cycle. Each cycle is initiated by the spontaneous generation of an action potential in the sinus node.

The goal of this study was to make a short reference to the anatomy of heart, to its regulation and to the analysis of the theoretical methods of foresight of the maximal cardiac frequency, confronting studies carried out by Tanaka and Karvonen, between others.

Much is said on the cardiac frequency, namely, the calculation of the ideal cardiac frequency for the practice of physical exercise.

Several studies have reported the importance of the heart rate in the functional evaluation and in the prescription of the training through the estimation of parameters of aerobian aptitude. Some authors have proposed models that allow identifying the maximal heart rate in an indirect way, without the necessity of undergoing maximum exercise job sessions, making possible the prescription of intensity of exercise using intensities regarding the maximal heart rate.

One of the best known indirect models involving the heart rate determines the prediction of the maximal heart rate from the equation $\text{Maximal heart rate} = 220 - \text{age}$. The authorship of this equation has also caused some controversy, pointing to Karvonen et al. However, he never published the original inquiry of this formula, having recommended that the work of the doctor Astrand should be investigated, to find the original inquiry.

Another question that has been raised is the efficiency of the maximal heart rate determination maximal heart rate for the different ages. It was noticed that in most of the inquiries there is a tendency in 'over predicting' the Maximal heart rate of young individuals and in 'under predicting' it in old individuals.

As conclusion, the equation maximal heart rate= $220 - \text{age}$ underestimates the maximal heart rate after 40 years, and here an equation of regression is proposed to appreciate the maximal heart rate for healthy adults: maximal heart rate= $208 - 0.7 \times \text{age}$.

Nevertheless there are not doubts for the realization of more inquiries on equations predicting the maximal heart rate, considering other variables (health state, physical condition and practiced activity).

Keywords: heart regulation, estimative equation, cardiac frequency, maximum heart rate

Lista de gráficos

Gráfico 1 - Relação entre FC _{máx} (valores médios) e grupo idade obtido através da meta análise.....	17
Gráfico 2 - Relação entre FC _{máx} e idade, obtido no estudo laboratorial	18
Gráfico 3 - Declínio da linha de regressão da relação entre a FC _{máx} e idade obtida através dos resultados derivados da equação $(208 - 0.7 \times \text{idade})$ (linha a cheio com 95% de intervalo de confiança), em comparação com os resultados derivados da equação tradicional $220 - \text{idade}$ (linha a tracejado). A diferença entre as duas equações de previsão da FC _{máx} , corrente equação e a equação tradicional, são visíveis no quadro acima do gráfico.....	19
Gráfico 4 - Correlação de Pearson entre FC _{máx} medida e a equação de predição de Karvonen "220-idade", $(r=0,72; r^2=0,52; n=2047)$	24
Gráfico 5 - Correlação de Pearson entre FC _{máx} medida e a equação de predição de Tanaka "208- $(0,7 \times \text{idade})$ ", $(r=0,72; r^2=0,52; n=2047)$	24
Gráfico 6 - Histograma da distribuição da FC _{máx} medida em teste de esforço...	31
Gráfico 7 - Distribuição da FC _{máx} medida e da FC _{máx} estimadas em relação à idade.....	31
Gráfico 8 - Resultados residuais para equação $(220 - \text{idade})$ e para FC _{máx} medida em teste de esforço em relação à idade.....	31
Gráfico 9 - Resultados residuais para equação proposta por Jones et al e para FC _{máx} medida em teste de esforço em relação à idade.....	31
Gráfico 10 - Resultados residuais para equação Tanaka et al. (2001) e para FC _{máx} medida em teste de esforço em relação à idade.....	32
Gráfico 11 - Resultados residuais para as diferentes equações de estimativa da FC _{máx} e da FC _{máx} medida em teste de esforço em relação à idade.....	32

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Descrição da amostra pelo número de participantes (n), idade, altura, peso e índice de massa corporal (n= 2.047)	23
Tabela 2 - Número de participantes (n), análise estatística, pelo teste "t" comparado, entre a FC _{máx} medida vs. FC _{máx} predita pela equação de Karvonen e FC _{máx} medida vs. FCM predita pela equação de Tanaka. FC _{máx} em batimentos por minuto (bpm) (n = 2.047)	24
Tabela 3 - Caracterização da Amostra (N=122)	30
Tabela 4 - Valores da FC _{máx} medida e da FC _{máx} estimada por diferentes equações em Indivíduos de ambos os sexos (N= 122)	31
Tabela 5 - Equações de predição da frequência cardíaca máxima.....	40

Índice

1 – Introdução.....	10
2 – Metodologia.....	10
3 – Frequência Cardíaca.....	11
4 – Anatomia do Coração.....	11
5 – Regulação Cardíaca.....	12
5.1 – Regulação Intrínseca.....	12
5.1.1 – O nódulo sinusal como marca passo cardíaco.....	13
5.2 – Regulação Extrínseca.....	13
6 – Equação de estimativa, cálculo e registo da frequência cardíaca máxima...	14
6.1 – Equação de estimativa e cálculo da frequência cardíaca máxima...	14
6.1.1 – A surpreendente história de “ $FC_{max} = 220 - idade$ ”, por Robert Robergs e Roberto Landwehr.....	35
6.2 – Registo da frequência cardíaca.....	38
6.2.1 – Cardíofrequencímetro.....	38
6.2.2 – Teste Ergométrico e Teste Ergoespirométrico.....	39
7 – Conclusão.....	40
8 – Referências Bibliográficas.....	42

1 – Introdução

Um dos parâmetros fisiológicos mais utilizados para a avaliação e controlo do treino é a Frequência cardíaca (FC). De facto, a FC é um parâmetro de fácil medição e apresenta uma boa estimativa do esforço dispendido. No entanto, para a mesma carga, podemos obter diferentes frequências cardíacas em sujeitos diferentes. Assim, é importante a determinação da Frequência Cardíaca Máxima ($FC_{máx}$), uma vez que a maioria dos programas de treino utilizam uma determinada percentagem da $FC_{máx}$, a qual é individual (Willmore, 2005).

Como a prova de exercício máxima não é fiável em muitas situações, a $FC_{máx}$ é muitas vezes estimada usando a equação baseada na idade $220 - \text{idade}$. Contudo, a validade da equação de $FC_{máx}$ baseada na idade não foi estabelecida, em particular num estudo que incluiu um adequado número de adultos mais velhos (p. ex., > 60 anos de idade). Esta última limitação é crucial visto que em adultos mais velhos a prevalência de doenças cardiovasculares e outras doenças crónicas é mais alta.

Acredita-se que o maior problema esteja relacionado com o processo ético que envolve a equação $220 - \text{idade}$, essa tem sido relacionada ao nome de Karvonen em seu estudo de 1957, facto é que esse estudo teve uma outra abordagem que não envolvia a elaboração desta equação. Nesse estudo, o autor teve como objectivo o desenvolvimento da seguinte equação $FC_t = (FC_{\text{treino}} - FC_{\text{repouso}} / FC_{máx} - FC_{\text{repouso}}) \times 100$, que teve como amostra cinco alunos do curso de Medicina, sendo que um dos indivíduos realizou o teste duas vezes. Na realidade, há na literatura uma série de trabalhos que atribuem a autoria da equação $220 - \text{idade}$ a vários autores, Astrand, Fox, Mesquita e Robergs, na realidade não se sabe quem é o verdadeiro autor da equação supracitada, o que se observa é que a maioria das citações podem não ter tido o cuidado ético com a transmissão do conhecimento (Policarpo, 2004).

O presente trabalho de revisão bibliográfico pretende fazer uma abordagem à anatomia do coração, sua regulação, analisar os métodos de previsão teórica da frequência cardíaca máxima e registo da frequência cardíaca.

2 - Metodologia

Para este trabalho foram utilizados livros, revistas e artigos da Biblioteca da Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra, da Escola Superior de Educação de Leiria e da Faculdade de Motricidade Humana de

Lisboa. Foram ainda utilizados o motor de busca do Google académico e o sítio da pubmed.

3 - Frequência cardíaca

Frequência cardíaca ou ritmo cardíaco define-se pelo número de batimentos cardíacos por minuto (bpm) e apesar de aparentemente ser um conceito simples, cada vez mais estudos se têm debruçado sobre este parâmetro.

A frequência cardíaca, expressa em batimentos por minuto, depende habitualmente do nódulo sinoauricular (SA), que se encontra situado na parede posterior da aurícula direita do coração.

O período compreendido entre o começo de um batimento cardíaco e o começo do seguinte é chamado de ciclo cardíaco. Cada ciclo é iniciado pela geração espontânea de um potencial de acção no nodo sinusal.

4 - Anatomia do coração

O coração adulto tem a forma de um cone grosseiro e as dimensões aproximadas de uma mão fechada. O vértice arredondado do cone recebe o nome de apex ou região apical. A porção achatada do lado oposto é a base.

O coração está localizado na cavidade torácica, entre os pulmões. O coração, traqueia, esófago e as estruturas que lhe estão associadas formam uma zona mediana, denominada mediastino.

O coração é composto por quatro cavidades: duas aurículas e dois ventrículos; e que é envolvido por um saco fechado denominado de pericárdio, ou saco pericárdico.

As aurículas, com as suas paredes finas, formam as partes superiores e posterior do coração, e os ventrículos, de paredes espessas, formam as porções anteriores e inferior.

Um grande sulco coronário, situado obliquamente em redor do coração, separa as aurículas dos ventrículos. Outros dois sulcos estendem-se para baixo do sulco coronário, indicando a divisão entre os ventrículos direito e esquerdo.

5 - Regulação Cardíaca

Durante o exercício físico, o débito cardíaco pode aumentar muitas vezes acima dos valores em repouso, logo a frequência cardíaca também aumenta. Este controlo do débito cardíaco é efectuado por mecanismos intrínsecos e extrínsecos.

1 - A regulação intrínseca é o produto de características funcionais do coração e não depende da enervação ou da regulação hormonal. Funciona normalmente sob condições adequadas quer o coração esteja colocado no corpo ou fora dele.

2 - Já na regulação extrínseca, o sistema nervoso autónomo e as hormonas têm um papel preponderante na regulação do coração, e nomeadamente na regulação da frequência cardíaca.

5.1 – Regulação Intrínseca

O **nodo sinusal** é uma tira pequena, achatada, de forma elipsóide, de músculo especializado, com cerca de 3 mm de largura, comprimento de 15 mm e espessura de 1 mm; fica situado na parede superolateral da aurícula direita, imediatamente abaixo e ao lado da abertura da veia cava superior. As fibras desse nodo quase não contêm filamentos contráteis, contudo as fibras sinusais são contínuas com as fibras auriculares, de modo que qualquer potencial de acção gerado no nodo sinusal se propaga imediatamente para as aurículas (Guyton, 1996).

A maioria das fibras cardíacas é capaz de contrair ritmicamente, principalmente devido a um grupo de células especializadas do sistema de condução, situadas na parede superior da aurícula direita, na junção da veia cava superior, formando o nódulo sinoauricular (SA), onde se inicia o sistema de condução, sendo o marca passo de todo o miocárdio.

Os potenciais de acção que se iniciam no nódulo SA, cerca de 60 bpm a 100bpm, são propagados para todo o coração e produzem a contracção rítmica de todo o miocárdio da aurícula até ao nódulo auriculoventricular (AV).

O nódulo VA, localizado próximo da válvula tricúspide, é outro grupo de células especializadas semelhante ao nódulo SA, mas a sua frequência é menor, cerca de 40 bpm a 60 bpm. Este nódulo coordena os impulsos que chegam do nódulo SA e, depois de uma breve pausa, liberta-os para os ventrículos através de um feixe de células – o feixe de His – que percorre o septo que separa os ventrículos.

O feixe de His divide-se em dois ramos, direito e esquerdo, que terminam em feixes de fibras chamados de sistema de Purkinje.

O sistema de Purkinje transmite os impulsos com velocidade cinco vezes maior que a do músculo cardíaco normal.

5.1.1- O nódulo sinusal como marca passo cardíaco

A frequência de descarga do nódulo sinusal é bastante mais alta que a do nódulo AV e das fibras Purkinje. Cada vez que o nódulo sinusal dispara, o seu impulso é conduzido para o nódulo AV e para as fibras de Purkinje, o que provoca a descarga das suas membranas excitáveis. Esses tecidos, assim como o nódulo sinusal, recuperam do potencial de acção e ficam hiperpolarizadas. Contudo, o nódulo sinusal perde a hiperpolarização de uma forma muito mais rápida que os outros dois e gera novo impulso, antes que qualquer deles possa atingir o seu próprio limiar para auto-excitação.

O novo impulso, descarrega novamente o nódulo AV e as fibras de Purkinje. Esse processo continua sem interrupção, o nódulo sinusal sempre a excitar essas estruturas, potencialmente auto-excitatórias, antes que essa auto-excitação possa, na verdade ocorrer.

Dessa forma, o nódulo sinusal controla o batimento cardíaco porque a frequência de sua descarga rítmica é maior que a de qualquer outra parte do coração. Por conseguinte, o nódulo sinusal é o marca passo cardíaco.

5.2 – Regulação Extrínseca

O sistema nervoso autónomo é dividido em duas partes: simpático e parassimpático, uma divisão baseada nas características anatómicas de cada divisão e nas funções que desempenham.

A estimulação parassimpática tem uma influência inibitória sobre o coração, principalmente através da diminuição da frequência. Esta estimulação sendo contínua, e em condições de repouso, inibe o coração em pequeno grau. Uma estimulação forte pode diminuir a frequência cardíaca em 20 a 30 batimentos por minuto. As fibras nervosas parassimpáticas são transportadas para o coração pelos nervos vagos. As fibras pré-ganglionares do nervo vago estendem-se até aos gânglios terminais, situados dentro da parede do coração, e as fibras pós-ganglionares estendem-se desde os gânglios até ao

nódulo SA, ao nóculo AV, aos vasos coronários e ao miocárdio auricular (Seeley, Stephens, Tate, 1995).

A estimulação simpática aumenta a frequência cardíaca e a força de contracção muscular. Uma estimulação forte pode aumentar a frequência cardíaca para 250 ou 300 batimentos por minuto. As fibras nervosas simpáticas têm origem na região torácica da espinal medula, sob a forma de neurónios pré-ganglionares. Estes neurónios têm sinapses com neurónios pós-ganglionares de duas cadeias ganglionares simpáticas, a cervical e a torácica superior, que se projectam para o coração como nervos cardíacos. As fibras nervosas simpáticas pós-ganglionares enervam os nódulos SA e AV, os vasos coronários, e o miocárdio auricular e ventricular (Seeley, Stephens, Tate, 1995).

6 – Equação de estimativa, cálculo e registo da frequência cardíaca máxima

6.1 – Equação de estimativa e cálculo da frequência cardíaca máxima

Muito se fala sobre a frequência cardíaca, nomeadamente, sobre o cálculo da frequência cardíaca ideal para a prática de exercícios físicos. Alguns profissionais passaram a desconsiderar a fórmula, bastante utilizada por todos, $(220 - \text{Idade})$, mas é o próprio American College of Sports Medicine (ACSM) que garante esse procedimento.

De acordo com o ACSM para realizar o cálculo da zona de treino individual utilizaríamos a seguinte fórmula: $220 - \text{idade}$. Por exemplo, se um individuo tiver 38 anos, então $(220 - 38) = 182$.

De uma forma muito simples podemos dizer que a frequência cardíaca máxima ($FC_{\text{máx}}$) é o valor de frequência cardíaca (FC) que atingimos quando desenvolvemos um esforço máximo.

Numerosos estudos têm relatado a importância da FC na avaliação funcional e na prescrição do treino através da estimativa de parâmetros de aptidão aeróbia, sendo que alguns autores têm proposto modelos que permitem identificar a $FC_{\text{máx}}$ de forma indirecta, sem a necessidade de se empregar sessões de exercício máximo, possibilitando assim a prescrição de intensidade de exercício utilizando-se de intensidades relativas a $FC_{\text{máx}}$.

Um dos modelos indirectos mais conhecidos envolvendo a FC é o que determina a predição da $FC_{\text{máx}}$ a partir da equação, anteriormente referida, $FC_{\text{máx}} = 220 - \text{idade}$.

Apesar de esse modelo ser mundialmente conhecido e citado na literatura corrente, alguns autores como Robergs & Landwehr (2002) consideram que a eficácia e

autoria desse modelo ainda é pouco esclarecida. Porém, a autoria desta equação foi atribuída a Karvonen que a descreveu em 1957 (Moreno, 2007).

Karvonen sugere para o cálculo da $FC_{\text{máx}} = 220 - \text{idade da pessoa} \pm 10$, até 25 anos e a partir de 25 anos permite-se uma abrangência maior, de ± 12 .

Já Sheffield, vai mais longe e faz a diferenciação entre indivíduos treinados e não treinados: Frequência Cardíaca Máxima (FCM para indivíduos não treinados) = $205 - (0,42 \times \text{idade})$ e Frequência Cardíaca Máxima (FCM para indivíduos treinados) = $198 - (0,42 \times \text{idade})$ (Sheffield et al, 1968).

Entretanto, apesar das evidências encontradas por Londree & Moeschberger (1982), Sheffield e tal (1978) mostraram que a $FC_{\text{máx}}$ pode variar de acordo com sexo, sendo diferente a relação entre idade e $FC_{\text{máx}}$ em homens e mulheres (Moreno, 2007).

Outros autores (Tanaka e tal, 2001) propuseram equações com ajustes matemáticos que levam em consideração idade, nível de condicionamento e outros parâmetros que, teoricamente, seriam capazes de predizer a $FC_{\text{máx}}$ mais fidedignamente. Tanaka et al (2001) propuseram três equações diferentes:

- para sedentários: $FC_{\text{máx}} = 211 - (0,8 \times \text{idade (anos)})$;
- para fisicamente activos: $FC_{\text{máx}} = 207 - (0,7 \times \text{idade (anos)})$;
- para atletas de endurance: $FC_{\text{máx}} = 206 - (0,7 \times \text{idade (anos)})$;

Estas três equações propostas demonstraram ter uma alta correlação ($r^2=0,81$) entre os valores reais e os preditos, o que as torna muito válidas.

Tanaka et al, procuraram determinar uma equação generalizada para predizer a $FC_{\text{máx}}$ em adultos sãos.

A equação de $FC_{\text{máx}}$ predita pela idade (isto é, $220 - \text{idade}$) é usualmente usada como uma base para prescrever programas de exercício, como um critério para realizar o esforço máximo e como um guia clínica durante a prova de exercício diagnóstica.

Apesar da sua importância e uso comum, a validade da equação $FC_{\text{máx}}$ nunca foi estabelecida numa amostra que incluísse um número suficiente de adultos mais velhos (por ex.: > 60 anos).

A $FC_{\text{máx}}$ é um dos valores mais usados em medicina clínica e fisiológica. Por exemplo, uma percentagem directa de $FC_{\text{máx}}$ ou uma percentagem de frequência cardíaca reserva (FCres) ($FC_{\text{máx}} - \text{frequência cardíaca em repouso}$) é usada como base para prescrever intensidade de exercício quer em reabilitação quer em programas de prevenção de doença (Williams & Wilkins, 2000). Além disso, em algumas situações

clínicas, a prova de exercício é terminada quando os sujeitos conseguem uma percentagem arbitrária da $FC_{máx}$ predita pela idade (p. ex., 85 % da $FC_{máx}$) (Gibbons, Balady, Beasley, 1997). A frequência cardíaca máxima também é largamente usada como um critério para realizar o esforço máximo na determinação de capacidade aeróbica máxima (Tanaka, DeSouza, Jones, Stevenson, Davy, Seals, 1997).

Como a prova de exercício máxima não é fiável em muitas situações, a $FC_{máx}$ é muitas vezes estimada usando a equação baseada na idade de 220 - idade. Contudo, a validade da equação de $FC_{máx}$ baseada na idade não foi estabelecida, em particular num estudo que incluiu um adequado número de adultos mais velhos (p. ex., > 60 anos de idade). Esta última limitação é crucial visto que em adultos mais velhos a prevalência de doenças cardiovasculares e outras doenças crónicas é mais alta. Como tal, esta é a população mais prevalente sob diagnóstico de prova de exercício, representando um alvo clínico de prescrição de exercício. Noutra linha, os adultos mais velhos são uma população na qual há muitas vezes uma relutância ou uma incapacidade para medir directamente a $FC_{máx}$, devido ao stress fisiológico imposto por exercício intenso. Assim, ironicamente, a equação de previsão de $FC_{máx}$, 220 - idade é usada nesta população mais do que em alguma outra. Consequentemente, o objectivo deste estudo consistiu em determinar uma equação para prever a $FC_{máx}$ em humanos sãos e não medicados dentro de um largo espectro de idades. Para isto, Tanaka et al., usaram uma aproximação meta-analítica em que valores médios de $FC_{máx}$ foram obtidos dos dados publicados. Posteriormente, validada a equação obtida por cruzamento com um estudo bem controlado, à base de laboratório. Com cada aproximação tentaram estabelecer uma generalização da equação determinando se o género ou a actividade física habitual exerceu uma influência significativa na relação de $FC_{máx}$ -idade.

A meta-análise utilizada por Tanaka et al nesse estudo foi conduzida como descrito em detalhe anteriormente pelo laboratório. Numa primeira fase, uma pesquisa extensa dos dados publicados foi efectuada para identificar tantos estudos quanto possível no qual a $FC_{máx}$ foi medida. Depois foi seleccionado a seriação de critérios. Os critérios de inclusão foram os seguintes: 1) estudos em língua inglesa publicado em jornais revistos por pares; 2) dados em homens e as mulheres reportados em separado; 3) pelo menos 5 indivíduos por grupo; 4) só os resultados mais recentemente publicados de determinado grupo de estudo; 5) sujeitos adultos; 6) máximo exercício documentado por critérios objectivos; e 7) só grupos sãos, (p. ex., sem resposta eletrocardiográfica de

isquemia), não medicados e de não fumadores (Tanaka, DeSouza, Jones, Stevenson, Davy, Seals, 1997).

Como, os estudos incluídos na meta-análise, usaram termos diferentes à condição aeróbica de exercício dos seus grupos, Tanaka e tal classificaram e analisaram os grupos em três categorias definidas arbitrariamente: 1) preparação por resistência, referindo-se à realização regular de mais do que 3 vezes/semana de exercício de resistência vigoroso por mais de um ano; 2) activo, referindo-se à realização ocasional ou irregular de exercício de aeróbica até 2 vezes/semana; e 3) sedentário, referente a nenhuma realização de qualquer exercício aeróbico.

Dados de passada ergométrica e bicicleta ergométrica foram avaliados em conjunto e separadamente. Não houve nenhuma diferença nos resultados entre as duas análises. Por isso, dados dos dois modos de exercício foram reunidos e são apresentados em conjunto. Esta meta-análise incluiu um total de 351 estudos envolvendo 492 grupos (161 femininos e 331 masculinos) e 18.712 indivíduos.

Para o estudo laboratorial, foram estudados quinhentos e catorze sujeitos (237 homens e 277 mulheres) (de idades entre 18 e 81 anos). Todos os sujeitos eram aparentemente sãos e livres de doença arterial coronária, como determinado por um questionário médico. Os sujeitos acima de 50 anos de idade foram além disso avaliados por exame físico e por eletrocardiografia de repouso e de exercício máxima. Nenhum dos sujeitos fumava ou usava qualquer outra medicação, à excepção de hormonas de substituição (mulheres em pós-menopausa). Para eliminar a influência de obesidade severa, só foram incluídos sujeitos com um índice de massa corporal $<35 \text{ kg/m}^2$. Dois grupos diferentes foram estudados: treino com exercício de resistência e sedentário. Os sujeitos preparados por resistência (n=229) tinha estado sob treino durante pelo menos os dois anos anteriores. Os sujeitos no grupo sedentário (n=285) não executaram exercício físico regular. Antes de participação, os sujeitos deram o seu consentimento informado para participar na investigação. Este estudo foi revisto e aprovado pelo Comité de Pesquisa Humano na Universidade do Colorado.

A $FC_{\text{máx}}$ foi determinada por um protocolo de passada contínuo e progressivo, como anteriormente descrito em detalhe pelo laboratório (Tanaka, DeSouza, Jones, Stevenson, Davy, Seals, 1997).

As frequências cardíacas foram continuamente controladas por eletrocardiografia. O consumo de O_2 por minuto (VO_2) também foi medido usando

espirometria assistida por computador em circuito aberto. Depois de um aquecimento de 6 a 10 minutos, cada sujeito correu ou andou numa velocidade cómoda mas viva. A passadeira foi aumentada em 2.5% a cada 2 minuto até exaustão. No final de cada etapa foi pedido a cada sujeito a sua percepção do esforço efectuado, usando uma escala de categoria Borg (avaliação entre 6 e 20). A $FC_{máx}$ foi definida como o valor mais alto registado durante o teste. Para assegurar que cada sujeito atingiu o esforço máximo, pelo menos três dos seguintes quatro critérios foram obtidos por cada sujeito: 1) um estabilização em VO_2 com intensidade de exercício crescente (< 100 ml); 2) uma taxa de troca respiratória de pelo menos 1.15; 3) uma frequência respiratória máxima de pelo menos 35 respirações/minuto; e 4) uma avaliação dos esforços de pelo menos 18 unidades na escala de Borg (Howley, Bassett, Welch, 1995).

As análises de regressão lineares foram realizadas para determinar a associação entre variáveis. Em todos os casos, a idade foi usada como a variável de predição. Os coeficientes de correlação de produto momento de Pearson foram usados para indicar a magnitude e direcção de relações entre variáveis. Os declives das linhas de regressão foram comparados usando análise de co-variância. A análise múltipla de regressão foi usada para identificar determinantes significativos independentes para declínios relacionados com idade em $FC_{máx}$. Para isso, só aquelas variáveis que tiveram correlação uni variável significativa com a $FC_{máx}$ (p. ex., idade, massa corporal) foram introduzidas no modelo. Todos os dados foram usados como valor médio \pm SD. O nível de significância estatístico foi estabelecido, a priori, em $p < 0.01$ para todas as análises (Tanaka, DeSouza, Jones, Stevenson, Davy, Seals, 1997).

O gráfico 1, ilustra o declínio da $FC_{máx}$ em homens e mulheres incluídas na meta-análise. A $FC_{máx}$ esteve forte e inversamente relacionada com a idade, tanto em homens

como em mulheres ($r = -0.90$). A taxa de declínio e a intersecção em y não foram

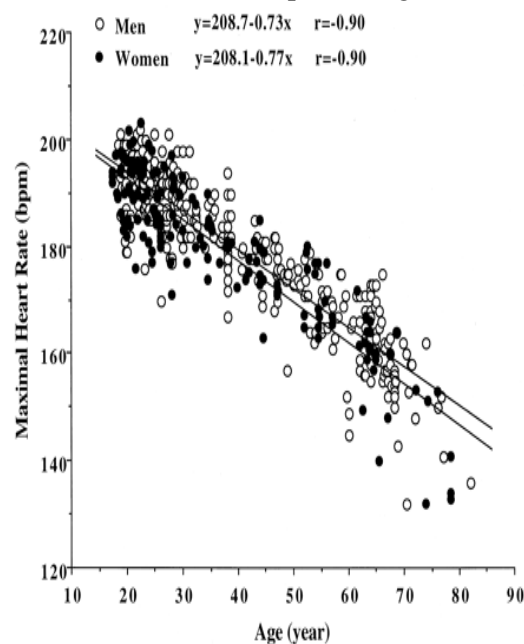


Gráfico 1 – Relação entre $FC_{máx}$ (valores médios) e grupo idade obtido através da meta-análise. (Tanaka, 2001)

diferentes entre homens e mulheres nem entre indivíduos sedentários ($211 - 0.8 \times$ idade), activos ($207 - 0.7 \times$ idade) e sujeitos treinados por resistência ($206 - 0.7 \times$ idade).

A equação de regressão, quando todos os sujeitos foram combinados, foi $208 - 0.7 \times$ idade. Regressão gradual da análise revelou que a idade sozinha explicou 80 % da variação individual da taxa de $FC_{m\acute{a}x}$.

Relativamente ao estudo realizado em laboratório, a razão de troca respiratória máxima (1.17 ± 0.06) e avaliação máxima de percepção do esforço (19.1 ± 0.8) não foi diferente através das

idades, sugerindo esforços máximos voluntários constantemente semelhantes. A relação entre $FC_{m\acute{a}x}$ e idade obtida nos estudos de laboratório é apresentado no gráfico 2. A $FC_{m\acute{a}x}$ relaciona-se inversamente com a idade tanto em homens como em mulheres. Houve variação substancial em $FC_{m\acute{a}x}$ através do intervalo de idades, com desvios padrão de 7 até 11 bpm. A equação de regressão de $FC_{m\acute{a}x}$ ($209 - 0.7 \times$ idade) foi praticamente idêntica à obtida na meta-análise. Novamente, nenhuma diferença significativa na equação $FC_{m\acute{a}x}$ foi observada entre homens e mulheres ou entre indivíduos sedentários ($212 - 0.7 \times$ idade) e treinados aeróbicamente ($205 - 0.6 \times$ idade).

Os relatórios originais que propõem $220 -$ idade como equação de $FC_{m\acute{a}x}$ parecem ser revisões de Fox e Haskell nos anos 1970. A equação determinada "arbitrariamente" de um total de 10 estudos.

A idade mais alta incluída foi <65 anos, com a maioria dos sujeitos com idade abaixo ou igual a 55 anos. Por causa destas limitações, houve algumas tentativas para estabelecer uma equação mais apropriada para prever a $FC_{m\acute{a}x}$. Contudo, tal como originalmente proposto por Fox e Haskell, esses estudos provavelmente (ou quase de certeza) incluíram sujeitos com doença cardiovascular que fumavam e/ou tomavam medicações cardíacas. Cada uma dessas condições influencia a $FC_{m\acute{a}x}$

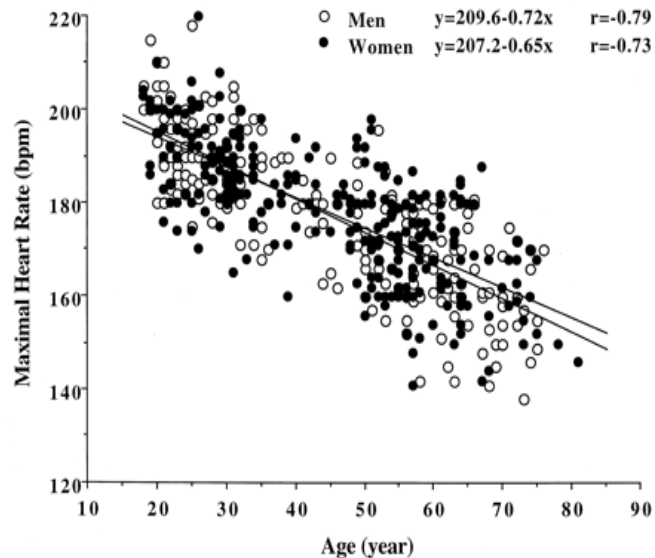


Gráfico 2 – Relação entre $FC_{m\acute{a}x}$ e idade, obtido no estudo laboratorial (Tanaka et al, 2001).

independentemente da idade. Por isso, o estudo realizado por Tanaka é o primeiro a determinar a equação de predição por idade para humanos adultos são, não medicados e não-fumadores. Outro aspecto único do estudo presente é que cada sujeito realizou um nível máximo de esforço, como verificado por critérios de exercício máximos convencionais (por ex., a estabilização de VO₂, razão de troca respiratória máxima > 1.15) (Tanaka, DeSouza, Jones, Stevenson, Davy, Seals, 1997).

Neste estudo, obteve-se a equação de regressão de $208 - 0.7 \times \text{idade}$ para prever FC_{máx}. Quando esta equação foi comparada com o tradicional $220 - \text{idade}$ (gráfico 3), ficou claro que a equação tradicional sobrestima FC_{máx} em jovens adultos, cruza-se com a equação presente para 40 anos de idade e a partir daí progressivamente

subestima FC_{máx} com novos aumentos em idade. Por exemplo, com 70 anos de idade, a diferença entre as duas equações é de aproximadamente 10 bpm. Considerando a larga variedade de valores individuais à volta da linha de regressão de FC_{máx} (desvio padrão (SD) aproximadamente 10 bpm), a sub-avaliação de FC_{máx} pode ser > 20 bpm para alguns adultos mais velhos. Embora a presente equação de FC_{máx} forneça uma estimativa mais exacta de FC_{máx} em média, tal como para equações prévias, pode não prever precisamente a verdadeira FC_{máx} nalguns indivíduos, por causa do desvio padrão. Como tal, apesar da conveniência e tranquilidade do uso de FC_{máx} baseado na idade, medições directas de FC_{máx} devem ser usadas como indicador de stress físico sempre que possível (Tanaka, DeSouza, Jones, Stevenson, Davy, Seals, 1997).

Traditional	200	190	180	170	160	150	140	130
Current	194	187	180	173	166	159	152	145
Difference	+6	+7	±0	-3	-6	-9	-12	-15

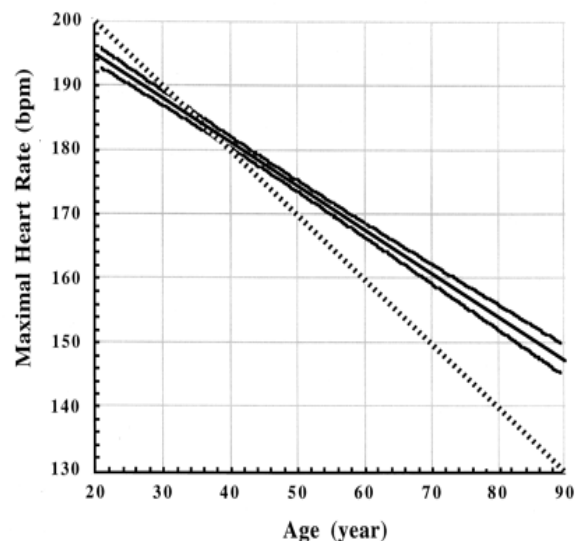


Gráfico 3 - Declínio da linha de regressão da relação entre a FC_{máx} e idade obtida através dos resultados derivados da equação ($208 - 0.7 \times \text{idade}$) (linha a cheio com 95% de intervalo de confiança), em comparação com os resultados derivados da equação tradicional $220 - \text{idade}$ (linha a tracejado). A diferença entre as duas equações de previsão da FC_{máx}, corrente equação e a equação tradicional, são visíveis no quadro acima do gráfico (Tanaka e tal, 2001)

Estas diferenças da $FC_{\text{máx}}$ podem ter um número de implicações clínicas importantes para adultos mais velho. Primeiro, porque a prova de exercício é terminada quando os sujeitos conseguem certa percentagem de $FC_{\text{máx}}$ (por. ex., $FC_{\text{máx}}$ de 85 %) em algumas situações clínicas, o uso da equação de previsão prevalecente resultaria no término prematuro do teste e possivelmente o fracasso em alcançar o esforço necessário para a validade diagnóstica. Em segundo lugar, para programas de intervenção de actividade física, um exercício aeróbico prescrito baseado na equação tradicional resultaria numa frequência cardíaca abaixo da intensidade desejada, que também pode ser óptimo para produzir benefícios para a saúde. Terceiro, em condições de fitness e saúde, a capacidade aeróbica máxima é comumente predito extrapolando a frequência cardíaca sub-máxima para a $FC_{\text{máx}}$ predita pela idade (por. ex., protocolo de ciclo de YMCA). Nessas condições, o uso da equação prevalecente resultaria numa sub-avaliação dos níveis aeróbicos (Tanaka, DeSouza, Jones, Stevenson, Davy, Seals, 1997).

Verificou-se que a taxa de declínio na $FC_{\text{máx}}$ não se associou com género ou estado da actividade física. O que é mais importante, uma grande porção da variabilidade foi explicada apenas pela idade. Estes resultados colectivamente indicam que a mesma equação de $FC_{\text{máx}}$ baseada na idade pode ser usada para vários grupos de adultos, são para estimar os seus valores de $FC_{\text{máx}}$. É de realçar, contudo, que por se ter excluído indivíduos com doenças cardiovasculares e fumadores, a presente equação pode não ser aplicável a esses sujeitos.

O mecanismo na base da redução de $FC_{\text{máx}}$ relacionado com idade não é claro.

Foi postulado que o mecanismo primário está relacionado com um declínio na frequência cardíaca intrínseca dependente da idade (isto é, independente de influências autónomas). Neste contexto, é interessante observar que a taxa de declínio da $FC_{\text{máx}}$ observada no presente estudo é muito semelhante à observada anteriormente para frequência cardíaca intrínseca determinada depois de bloqueio cardíaco autónomo (-0.6 - 0.8 batimentos/minuto por ano) (14,15). Além disso, de acordo com os resultados apresentados, género (14) e actividade física habitual (16) não parecem influenciar a frequência cardíaca intrínseca em seres humanos. Esses resultados sugerem colectivamente que uma redução em $FC_{\text{máx}}$ com a idade pode ser principalmente devida à redução de frequência cardíaca intrínseca (JOSE, COLLISON, 1970).

Camarda et al, num estudo realizado para comparar a FC_{máx} medida com fórmulas de predição propostas por Karvonen e Tanaka, também afirma que a FC_{máx} é um indicador amplamente utilizado para prescrição de intensidades em programas de exercícios aeróbios, por possuir uma estreita relação com o consumo máximo de oxigénio (Robergs, Landwehr, 2002). Os indivíduos sedentários, em geral, apresentam valores mais elevados para a FC_{máx} que os treinados (Lester, Sheffield, Trammel, Reeves, 1968). Contudo, alguns autores relatam que a FC_{máx} não varia significativamente com o treino (Ekblom, Astrand, Saltin, Stenberg, Wallstrom, 1968). A redução da FC_{máx} com o treino deve-se, provavelmente, às adaptações do coração e sistema nervoso autónomo para alcançar um débito cardíaco óptimo (Pollock, 1973). Os testes máximos realizados em cicloergómetros apresentam valores de FC_{máx} de 5% a 10% inferiores em relação ao obtido em esteira ergométrica, esse facto é explicado pela ocorrência da fadiga periférica (Penitenti, 2004).

Contudo, outro estudo encontrou uma boa associação entre a FC_{máx} medida, nos testes realizados nos dois ergómetros, para 57% dos indivíduos (Araújo, Pinto, 2005).

Uma das equações mais utilizadas para a predição da FC_{máx} é a $220 - \text{idade}$, como referido anteriormente, proposta para essa finalidade por Fox et al.. Essa equação tende a super estimar a FC_{máx} de indivíduos jovens (< 40 anos) e a subestimar a frequência de idosos. Outra equação utilizada para predição dessa variável é o modelo de regressão proposto por Tanaka et al. ($208 - (0,7 \times \text{idade})$), que apresenta valores de FC_{máx} menores do que a de Karvonen et al. Essas equações podem apresentar grande margem de erros (Robergs, Landwehr, 2002). Existe conflito na literatura sobre a aplicação das equações para predição da FC_{máx}, alguns demonstram boa correlação com a FC_{máx} medida, outros, fraca. Parte disso dá-se por causa da diversidade de condições experimentais, como tipo de população, amostra pequena, variedade de protocolos de avaliação, equipamentos para análise e ergómetros utilizados. Camarda et al ao realizar esta análise-estudo propôs comparar a FC_{máx} obtida por meio de teste ergoespirométrico máximo em passadeira rolante, de brasileiros sedentários, de ambos os sexos e com faixa etária de 12 a 69 anos, com as fórmulas de predição propostas por Tanaka et al. e Karvonen et al. (Camarda et al, 2008).

O estudo transversal retrospectivo clínico foi realizado no Centro de Medicina da Actividade Física e do Esporte (Cemafe) da Escola Paulista de Medicina da

Universidade Federal de São Paulo e aprovado pelo Comité de Ética e Pesquisa da mesma instituição (CEP n. 0961/06).

Dos 24.120 testes ergoespirométricos máximos, com protocolo de cargas crescentes, realizados em passadeira rolante e armazenados no banco de dados do Cemafe, no período de 1994 a 2006, foram resgatados 1.091 resultados da $FC_{máx}$ de indivíduos sedentários do sexo masculino e 956 do feminino. Esses dados foram utilizados como padrão ouro na comparação com as fórmulas de predição propostas por Karvonen e Tanaka.

Após a tabulação dos dados, calcularam-se as $FC_{máx}$ pelas equações de predição de Karvonen ($220 - \text{idade}$) e Tanaka ($208 - (0,7 \times \text{idade})$), seguida pela comparação com a $FC_{máx}$ medida. Os critérios de inclusão englobaram indivíduos sedentários, brasileiros e aparentemente saudáveis, com faixa etária de 12 a 69 anos, que realizaram o teste ergoespirométrico em passadeira rolante eléctrica e com índice de massa corporal $\leq 40 \text{ kg/m}^2$.

Com base nos dados do questionário padrão de avaliação física do Cemafe sobre hábitos de vida, foram considerados sedentários os indivíduos que relataram não ter participado em nenhum tipo de actividade física, ou ter participado em actividade física por um período menor do que 20 minutos por dia e com frequência menor do que três vezes por semana, há pelo menos seis meses. Os indivíduos que procuraram os serviços do Cemafe com fins específicos eram assintomáticos e aparentemente saudáveis. Foram considerados brasileiros os indivíduos que preencheram a ficha de inscrição como nascidos no Brasil, excluindo-se, portanto, estrangeiros e/ou naturalizados. Os resultados foram obtidos pelo teste ergoespirométrico com protocolo de carga crescente, padrão do Cemafe para sedentários, que consiste em iniciar na carga de 3,0 km/h sem inclinação, com duração de 2 minutos, seguida por estágios com duração de 1 minuto e incrementos de 1,0 km/h até a exaustão, em passadeira rolante (Precor C964i USA).

Quando foi necessário dar prosseguimento ao teste, após dez minutos de incrementos de carga, realizaram-se incrementos na inclinação de 2,5% ou 5,0% a cada minuto. Os critérios adoptados para interromper o teste e classificá-lo como máximo foram: atingir o platô do consumo máximo de oxigénio em relação a carga, razão das trocas gasosas igual ou superior a 1,1 e exaustão física. A $FC_{máx}$ foi determinada pelo sistema de ergometria (Ergo-S e eletrocardiógrafo EP- 3 DIXTAL-Brasil). Para análise dos resultados, aplicou-se a correlação de Pearson e teste "t" para dados pareados, para a

comparação da frequência cardíaca máxima com as fórmulas de predição. Foram determinadas as médias e desvios padrão das variáveis peso, altura, índice de massa corpórea, idade e $FC_{máx}$ atingida no teste cardio-pulmonar. Por tratar-se de um estudo retrospectivo clínico, a limitação do estudo consiste na falta de controlo do pesquisador sobre as medidas dos testes questionários aplicados no período de 1994 a 2006 (Camarda et al, 2008).

Para caracterizar a amostra, realizaram-se as medidas altura (cm) e peso (kg) e calculou-se o índice de massa corporal (kg/m^2), juntamente com a idade. Os valores dessas variáveis são apresentados em médias e desvio padrão na tabela 1. As médias da $FC_{máx}$ medida e preditas pelas equações de Karvonen e Tanaka, por meio da análise estatística descritiva, são mostradas na tabela 2.

Por meio do teste t Student, para dados pareados, foi encontrada diferença significativa ($p < 0,000$) entre as equações de predição analisadas no estudo e a $FC_{máx}$ medida no laboratório. Realizou-se a correlação de Pearson entre a $FC_{máx}$ medida e as fórmulas de predição de Karvonen e Tanaka, para determinar a correlação dessas equações com a $FC_{máx}$ medida. A equação de Karvonen (gráfico 4) apresentou os mesmos valores de correlação obtidos na de Tanaka (gráfico 5) quando elas foram comparadas com a $FC_{máx}$ medida, $r = 0,72$ e $r^2 = 0,52$.

Tabela 1 - Descrição da amostra pelo número de participantes (n), idade, altura, peso e índice de massa corporal (n= 2.047)

Género	n	Idade (anos)	Altura (cm)	Peso (kg)	IMC (kg/m^2)
Masculino	1.091	$37,8 \pm 11,4$	$174,9 \pm 7,0$	$82,0 \pm 13,0$	$26,8 \pm 3,8$
Feminino	956	$36,3 \pm 11,4$	$161,7 \pm 6,8$	$63,2 \pm 10,9$	$24,2 \pm 4,0$
Masculino e Feminino	2.047	$37,1 \pm 11,4$	$168,7 \pm 9,5$	$73,3 \pm 15,4$	$25,6 \pm 4,1$

Valores apresentados em média \pm desvio padrão

Tabela 2 - Número de participantes (n), análise estatística, pelo teste "t" comparado, entre a FCmáx medida vs. FCmáx predita pela equação de Karvonen e FCmáx medida vs. FCM predita pela equação de Tanaka. FCmáx em batimentos por minuto (bpm) (n = 2.047).

Gênero	n	FCmáx medida (bpm)	FCmáx Karvonen (bpm)	FCmáx Tanaka (bpm)
Masculino	1.091	181,0 ± 14,0	181,0 ± 14,0	181,0 ± 14,0
Feminino	956	181,0 ± 14,0	181,0 ± 14,0	181,0 ± 14,0
Masculino e Feminino	2.047	181,0 ± 14,0	181,0 ± 14,0	181,0 ± 14,0

Valores apresentados em média ± desvio padrão; * Teste "t" comparado FCmáx medida vs. FCmáx Karvonen t = -9,63 (p <0,000); ** Teste "t" comparado FCM medida vs. FCmáx Tanaka t = -5,56 (p <0,000).

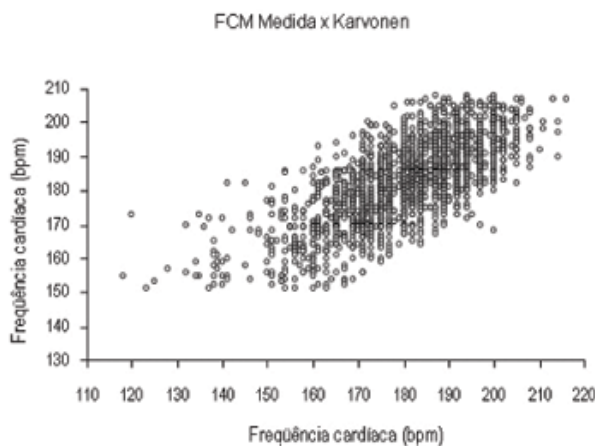


Gráfico 4 - Correlação de Pearson entre FCmáx medida e a equação de predição de Karvonen "220-idade", (r=0,72; r2=0,52; n=2047).

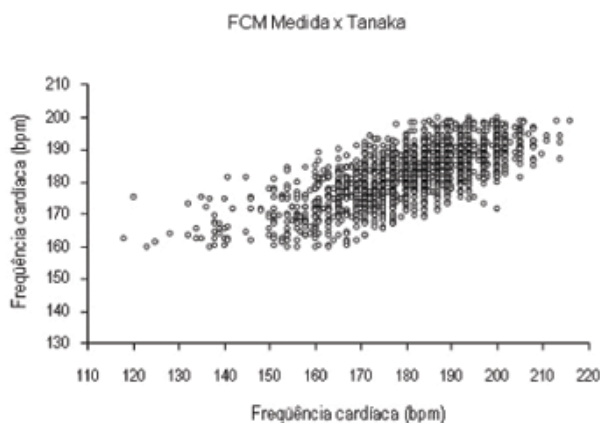


Gráfico 5 - Correlação de Pearson entre FCmáx medida e a equação de predição de Tanaka "208- (0,7 x idade) ", (r=0,72; r2=0,52; n=2047).

Camarda et al discutiu os resultados obtidos da seguinte forma, afirmando que a predição da FC_{máx} por equações é amplamente utilizada para prescrição do treino e em serviços de ergometria. A equação mais utilizada é a 220 - idade, podendo tal facto ser justificado em razão da frequente citação e utilização dessa fórmula em livros e artigos relacionados com fisiologia do exercício, exames de certificação em medicina desportiva, em programas de condicionamento físico e em indústrias ligadas ao segmento da actividade física (Whaley, Kaminsky, Dwyer, Getchell, Norton, 1992).

Consequentemente, a fórmula 220 - idade não apresenta mérito científico para ser utilizada no campo da fisiologia do exercício e em áreas afins. De acordo com Tanaka et al., a elaboração da fórmula 220 - idade (Karvonen, Kentala, Mustala, 1957) deu -se por meio da revisão feita por Fox et al. (Fox, Naughton, Haskell, 1971). Essa fórmula foi determinada arbitrariamente para um total de dez estudantes. A idade mais elevada utilizada foi de 65 anos, e a maioria dos indivíduos apresentaram idade <55 anos. Esse mesmo estudo comparou a equação 220 - idade com a 208 - (0,7 x idade): a primeira equação super estima a FC_{máx} em jovens adultos em comparação à segunda, e com o aumento da idade essa relação tende a crescer. Entre os seleccionados, incluíram-se indivíduos com doenças cardiovasculares, tabagistas ou que utilizavam drogas cardio activas. Essas condições influenciam a FC_{máx}, independentemente da idade (Whaley, Kaminsky, Dwyer, Getchell, Norton, 1992). Apesar das constatações de que a equação 220 - idade seria inadequada para a aplicação na área das ciências da saúde, o American College of Sports Medicine (ACSM, 2000) indica a fórmula de Karvonen para a prescrição do exercício aeróbio, pois ela apresenta uma correlação directa com o consumo máximo de oxigénio.

Neste estudo comparou-se a frequência cardíaca medida em teste ergoespirométricos de 2047 brasileiros sedentários, 1.091 do sexo masculino e 956 feminino, com idade entre 12 e 69 anos, com as fórmulas de Karvonen e cols. e Tanaka e cols., a fim de esclarecer qual a correlação entre a FC_{máx} medida e as duas fórmulas de predição. Os valores encontrados por nós, para a correlação de Pearson entre a FC_{máx} medida e as equações propostas por Karvonen e cols. e Tanaka e cols., foram os mesmos ($r = 0,72$). Esse valor assemelha-se ao estudo proposto por Tanaka que encontrou uma correlação de $r = 0,79$ para indivíduos do sexo masculino e $r = 0,73$ para o feminino, entre a FC_{máx} medida e a equação 208 - (0,7 x idade). Em estudo com idosos na faixa etária de 60 a 81 anos, as equações de predição da FC_{máx} de Karvonen

et al (220 - idade) e de Tanaka et al. (208 - (0,7 x idade)) apresentaram valores significativamente maiores quando comparados aos medidos durante um teste de esforço progressivo, com uma fraca correlação entre a FC_{máx} medida e as equações de predição de Karvonen (0,354) e Tanaka (0,342). Contudo, para a faixa etária da nossa amostra de 12 a 69 anos, a FC_{máx} medida apresentou valores significativamente menores ($p < 0,000$) que as equações de predição. (Camarda et al, 2008).

O uso de regressões para estimar indirectamente a FC_{máx} no bicicleta ergométrica para indivíduos que não apresentam boa condição física aumenta potencialmente o erro de predição da FC_{máx} e, conseqüentemente, da intensidade de exercício a ser realizado, o que sugere que a FC_{máx} deveria ser determinada directamente para cada indivíduo (Araújo, Pinto, 2005).

A boa correlação encontrada nesse estudo ($r = 0,72$) entre a FC_{máx} medida e as equações de predição de Karvonen e Tanaka pode ser justificada pelo maior número de indivíduos e pelo fato de os testes terem sido realizados em passadeira, em vez de bicicleta ergométrica. Em estudo para comparação dos valores da FC_{máx} obtidos em laboratório com equações de predição, Vasconcelos constatou que a equação 220 -idade apresenta maior correlação com FC_{máx} medida do que a proposta por Inbar et al.

É um facto que métodos directos de medição possuem maior eficácia para determinação da FC_{máx}, no entanto continua sendo grande a utilização de fórmulas de predição, principalmente a equação 220 - idade, por profissionais ligados a ciências da saúde. O estudo de Camarda et al demonstrou que existe boa correlação entre a FC_{máx} medida e as equações de predição, contudo são necessários mais estudos relacionados ao desenvolvimento de equações que apresentem maior precisão para predizer a FC_{máx}.

Camarda et al acredita que a magnitude da amostra e dos dados, recolhidos no Centro de Medicina da Actividade Física e do Desporto (Cemafe), credencia o seu estudo para comparar a FC_{máx} medida com as equações de predição propostas por Karvonen (220 - idade) e Tanaka (208 - (0,7x idade)).

Para Barbosa, Oliveira, Fernandes e Fernandes Filho, 2004, que realizaram também um estudo comparativo das equações de estimativa da FC_{máx}, os pontos fundamentais para o sucesso de um programa de exercício físico estão centrados na determinação de parâmetros funcionais obtidos por uma avaliação física criteriosa e nos princípios que irão nortear a prescrição dos exercícios físicos, tais como: frequência, duração e intensidade (AMCS, 2003; Fernandes Filho, 2003). Os avanços tecnológicos

proporcionaram uma melhor qualidade aos equipamentos que possibilitam a obtenção de dados, como o consumo máximo de oxigénio (VO_2); limiar ventilatório (LV); limiar de lactato (LL); frequência cardíaca máxima ($\text{FC}_{\text{máx}}$) entre outros Denadai et al., 2000 (Wasserman et al., 1994;). Embora esse progresso tenha propiciado uma maior acuidade na prescrição e no acompanhamento dos programas de condição física, vemos que a utilização de equações de estimativa da FC é o recurso mais empregado, seja na metodologia da determinação do VO_2 por diferentes protocolos, ou na delimitação das intensidades de treino aeróbio (Yazbek et al., 1996; Froelicher et al., 1998; Policarpo, Biazotto; Bottaro, 2002; Wilmore; Costill, 2001; Yazber et al. 1996).

Segundo Dantas (1995), Marins e Giannichi (1998), Leite (2000), Fernandes Filho (2003) e o AMCS (2003), as equações de estimativa da FC são uma metodologia de baixo custo e de fácil aplicabilidade. Apesar da existência de uma grande variedade de equações para estimativa da FC, nota-se que a equação (220 - idade) continua a ser amplamente utilizada como base para tais determinações (Landwehr; Robergs, 2002).

Policarpo e Bottaro (2000), Tanaka et al. (2001), Oliveira, Policarpo e Bottaro (2001) e Cardoso e Forjaz (2001) demonstraram que a equação (220 - idade) tende a superestimar os valores de referência da FC obtidos, tanto em passadeira como em bicicleta. Tal constatação exige uma reflexão quanto às metodologias de avaliação da aptidão aeróbia e da prescrição dos treinos físicos que estejam fundamentados na equação (220 - idade). Sendo assim, o objectivo do estudo por Barbosa, Oliveira, Fernandes e Fernandes Filho, 2004, foi verificar a equação que apresentasse uma melhor relação com o parâmetro fisiológico FC medido durante o teste de esforço, possibilitando, assim, fornecer uma ferramenta de maior segurança na determinação das intensidades dos exercícios físicos, além de demonstrar circunspecção para a interrupção do teste de esforço (Barbosa, Oliveira, Fernandes, Fernandes Filho, 2004). Este estudo teve uma abordagem correlacional, visando avaliar a aplicabilidade de diferentes equações de estimativa da FC em indivíduos aparentemente saudáveis, utilizando como referência o teste de esforço máximo (Thomas; Nelson, 2002).

Observou-se a relação entre os valores obtidos por diferentes equações de estimativa da $\text{FC}_{\text{máx}}$: Tanaka et al. (2001) [$208 - (0,7 \times \text{idade})$], Jones et al. (1975) [$210 - (0,65 \times \text{idade})$], e [$220 - \text{idade}$], e os valores da $\text{FC}_{\text{máx}}$ medida em teste de esforço (Barbosa, Oliveira, Fernandes, Fernandes Filho, 2004).

A amostra foi composta por alunos universitários do primeiro semestre do Curso

de Educação Física da Universidade de Brasília, Brasil, aparentemente saudáveis, voluntários, de ambos os sexos, com idade entre 17 e 33 anos. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Católica de Brasília (UCB), Brasília, DF (Barbosa, Oliveira, Fernandes, Fernandes Filho, 2004).

Todos os testes foram realizados no Laboratório de Avaliação Física e Treino (LAFIT) da Universidade Católica de Brasília (UCB), de acordo com os critérios de segurança recomendados pelo Consenso Nacional de Ergometria (2000) (Barbosa, Oliveira, Fernandes, Fernandes Filho, 2004).

Os participantes foram seleccionados em sala de aula e informados dos objectivos, procedimentos, possíveis desconfortos, riscos e benefícios envolvidos na participação da pesquisa. Os indivíduos previamente seleccionados foram instruídos a não se alimentarem três horas antes do teste e não ingerirem bebidas alcoólicas 48 horas antes do teste, bem como a não se exercitarem 12 horas antes de se apresentarem no Laboratório. Ao chegar ao Laboratório, leram e assinaram o termo de consentimento conforme a lei 196/96, findando com a obtenção dos seguintes dados: Massa Corporal (MC), Estatura (EST) e Dobras Cutâneas (DC).

A massa corporal (MC) foi avaliada por meio de balança electrónica TOLEDO DIGITAL com acuidade de 50 g; a estatura foi medida por meio de um estadiómetro (COUNTRY TECHNOLOGY INC, Gays Mills, WI. modelo 67031) com escala em milímetros. As estimativas do percentual de gordura (% G) e da massa corporal magra (MCM) foram obtidas pela equação de três dobras cutâneas tanto para homens, quanto para as mulheres (Pollock; Wilmore, 1993). Para a medição das dobras cutâneas, utilizou-se o compasso marca Langeâ (CAMBRIDGE SCIENTIFIC INDUSTRIES, Cambridge, MD). Os dados foram calculados através do programa de avaliação física Galileu, versão 2.0 (MICROMED ©, Brasília, DF).

Após a avaliação antropométrica, os candidatos foram acomodados numa maca, onde permaneceram em decúbito dorsal por 10 minutos. Logo após, aferiu-se a pressão arterial de repouso por meio de um esfigmomanómetro (BECTON DICKINSON ®); de seguida, realizou-se o electrocardiograma (ECG) de repouso por meio do equipamento (MARQUETTE HELLIGE ©, Medical Systems, modelo: CardioSmart, versão 3.0 CS-MI) (Barbosa, Oliveira, Fernandes, Fernandes Filho, 2004).

O teste de esforço máximo foi realizado em passadeira rolante modelo Super ATL (INBRAMED, Porto Alegre, RS). A análise metabólica de gases foi efectuada pelo

analisador VO2000 ® acoplado ao sistema computadorizado ERGOPC Elite ®, versão 2.0 (MICROMED ©, Brasília, DF). Este analisador permite avaliar os seguintes parâmetros: volume de ar expirado por minuto (VE), volume de oxigênio consumido por minuto (VO), volume de dióxido de carbono produzido por minuto (VCO₂), e razão de trocas respiratórias (R). Antes do início de cada teste, o analisador metabólico de gases foi calibrado, conforme as especificações do fabricante, com um gás conhecido e atestado pelo Centro de Controle de Qualidade de Gases Especiais, composto de 17% de O e 5% de CO, e com balanço de nitrogênio. A frequência cardíaca (FC) foi monitorizada por meio da derivação (CM5). Para tanto, foi utilizado o electrocardiograma do sistema ERGOPC Elite ®, versão 2.0 (MICROMED ©, Brasília, DF). O protocolo usado nos testes de esforço máximo foi o de intensidade progressiva, com aumento da carga (de 1 km/h) a cada um minuto e um por cento da inclinação (inicial 0% e final de 6%) a cada dois minutos, até o participante atingir a exaustão. A velocidade inicial foi de 4 km/h e a final de 16 km/h. Foram excluídos os indivíduos que apresentaram hipertensão limítrofe, diabetes, doenças cardiovasculares e doenças do sistema respiratório.

Os critérios estatísticos utilizados na determinação da aplicabilidade e precisão das equações de estimativa da FC_{máx} foram os seguintes: a) análise descritiva; b) análise de co-variância corrigida pelo método de Bonferroni; c) teste de correlação de Pearson (r); d) análise do erro padrão de estimativa (EPE); e e) análise dos escores residuais pelo método de Glande e Altman (1986). Os casos extremos outliers foram definidos por escores individuais de exclusão $\pm 3,0$ desvios padrões da média (Stevens, 1996). A análise dos dados foram realizados por meio do programa estatístico *Statistical Package for the Social Sciences for Windows* (SPSS 10.0). O nível de significância foi de $p < 0,05$ (Barbosa, Oliveira, Fernandes, Fernandes Filho, 2004).

Foram analisados inicialmente 144 indivíduos, sendo 17 excluídos, segundo os critérios pré estabelecidos.

A amostra foi composta por $n = 122$ indivíduos de ambos os sexos, sendo 69% homens e 31% mulheres.

Foram observados os seguintes valores descritivos para as variáveis antropométricas e para os parâmetros funcionais de repouso (Tabela 3). A correlação não foi significativa ($p > 0,05$) entre as equações e os dados obtidos em teste, para as equações de Fox et al. (1971), Jones et al. (1975), e Tanaka et al. (2001), para valores de

($r = 0,071$; $0,022$ e $0,023$), respectivamente.

Os resultados apresentaram diferenças significativas entre os valores médios de FC_{máx} medida e da FC_{máx} estimada. Obtiveram-se os seguintes dados para os resultados de co-variância: Wilk's = 0,001. $F(3,119) = 29265,85$; $p = 0,001$.

Tabela 3 – Caracterização da Amostra (N=122)

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Idade (anos)	122	17	33	21,48	3,67
Estatura (cm)	122	148	189	172	8,47
Massa Corporal (Kg)	122	40,30	96,60	66,63	10,24
IMC (Kg/cm ²)	122	16,00	31,10	22,50	2,42
Massa Gorda (Kg)	122	1,73	25,42	9,02	4,76
Massa Magra (Kg)	122	35,55	77,46	57,62	9,60
Percentual de Gordura (%)	122	2,85	31,66	13,52	6,47
FC repouso (bmp)	122	39	92	63,67	10,44
Pressão sistólica (mmHg)	122	90	140	115	9,20
Pressão distólica (mmHg)	122	60	90	71,84	8,31

Sendo a hipótese nula (H_0) rejeitada, aceitou-se a hipótese alternativa (H_1) de que as equações apresentam diferenças significativas ($p > 0,05$) na determinação da FC, com tendência a superestimar os valores máximos de referência, conforme demonstrado na Tabela 4 e nos gráficos de 6 a 11.

Gráfico 6 – Histograma da distribuição da FC_{máx} medida em teste de esforço (Barbosa, Oliveira, Fernandes e Fernandes Filho, 2004).

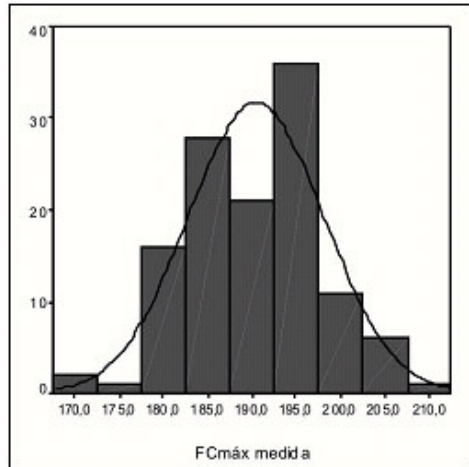


Gráfico 7 – Distribuição da FC_{máx} medida e da FC_{máx} estimadas em relação à idade (Barbosa, Oliveira, Fernandes e Fernandes Filho, 2004).

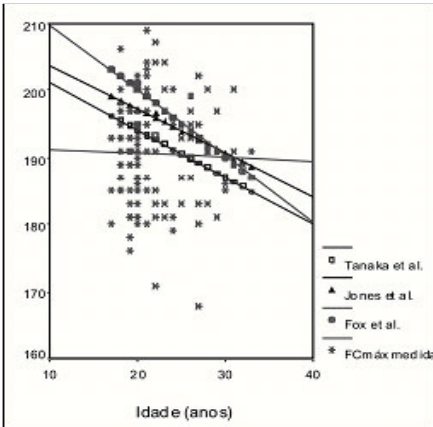


Tabela 4 – Valores da FC_{máx} medida e da FC_{máx} estimada por diferentes equações em Indivíduos de ambos os sexos (N= 122)

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
FC _{máx} medida	122	16	20	190,4	7,6
(220 - idade)	122	18	20	190,4	3,7
Jones et al.	122	18	19	196,0	2,3
Tanaka et al.	122	18	19	192,9	2,5

p>0,05

Gráfico 8 – Resultados residuais para equação (220 - idade) e para FC_{máx} medida em teste de esforço em relação à idade (Barbosa, Oliveira, Fernandes e Fernandes Filho, 2004).

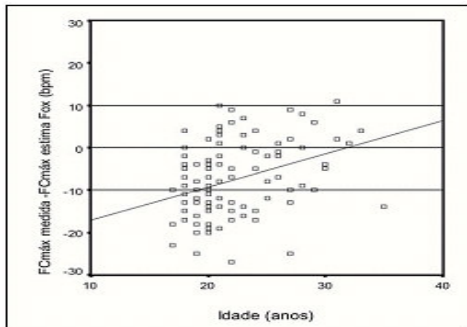


Gráfico 9 – Resultados residuais para equação proposta por Jones et al e para FC_{máx} medida em teste de esforço em relação à idade (Barbosa, Oliveira, Fernandes e Fernandes Filho, 2004).

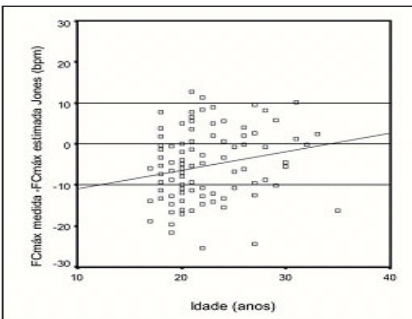


Gráfico 10 – Resultados residuais para equação Tanaka et al. (2001) e para $FC_{\text{máx}}$ medida em teste de esforço em relação à idade (Barbosa, Oliveira, Fernandes e Fernandes Filho, 2004).

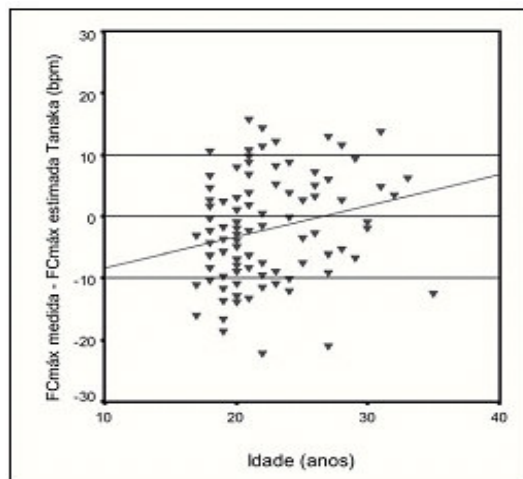
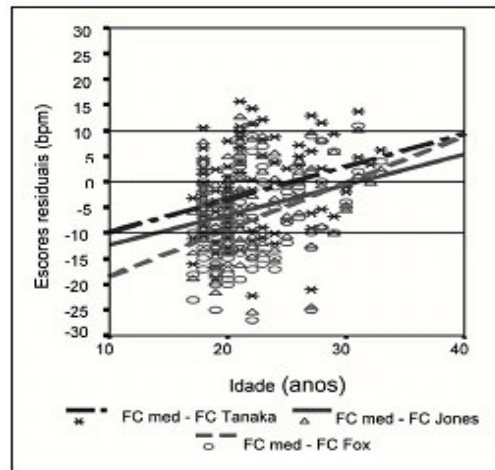


Gráfico 11 – Resultados residuais para as diferentes equações de estimativa da $FC_{\text{máx}}$ e da $FC_{\text{máx}}$ medida em teste de esforço em relação à idade (Barbosa, Oliveira, Fernandes e Fernandes Filho, 2004).



Os resultados residuais apresentaram os valores de 45,08%, 31,15% e 19,67%, respectivamente, para as equações de (220 - idade), Jones et al. (1975) e Tanaka et al. (2001). O erro constante foi considerado significativo para todas as equações (Barbosa, Oliveira, Fernandes, Fernandes Filho, 2004).

Neste estudo, foi verificada a eficácia de três equações na determinação da FC em indivíduos jovens, estudantes universitários, todos activos, observando-se uma tendência das mesmas em superestimar a FC medida em teste de esforço.

Segundo Tanaka et al. (2001), a equação (220 - idade) apresenta tendência a superestimar a $FC_{\text{máx}}$ em indivíduos jovens. Os mesmos resultados foram observados por Policarpo e Bottaro (2000), quando compararam os valores obtidos em teste de esforço com as equações de Jones et al. (1975) e (220 - idade).

Em pesquisa realizada por Araújo e Basto (1980), em indivíduos jovens, verificaram que a equação proposta por Jones et al. apresentava melhor paridade entre os valores obtidos e estimados. Mesquita et al. (1996) comparou se haveria melhor relação entre a equação (220 - idade) e tabela de Sheffield na determinação da FC em indivíduos sedentários, por meio de teste ergométrico máximo, constatando que a

equação apresentou melhor relação como os dados obtidos em teste.

Não se observou significância ($p > 0,05$) entre as equações estudadas e os dados obtidos.

A equação (220 - idade) foi a que apresentou maior tendência em superestimar os valores de referência. Pode-se ter como uma possível explicação para essa tendência as características da população estudada. Tanto no estudo realizado por Araújo e Basto (1980) como no de Policarpo e Bottaro (2000), as amostras foram compostas por indivíduos activos que apresentaram respostas hemodinâmicas diferentes ao esforço

Evangelita e Brum (1999) em revisão sobre os efeitos do destreinamento em atletas de *endurance*, num período de quatro semanas, sobre a frequência cardíaca, observaram alterações nas respostas ao exercício submáximo e máximo. Rivera (1981) cita que o tipo de treino teria influência na resposta da obtenção da FC em indivíduos jovens com idade entre 21 a 23 anos.

Outros aspectos importantes que também poderiam estar a influenciar a resposta na obtenção da FC, segundo Londeree e Moeschberger (1982), seriam: idade; sexo; treino; e etnia. A conclusão foi de que a idade seria a variável com maior influência.

Sendo assim, um ponto importante a ser observado na definição da equação para a estimativa da $FC_{máx}$ seria o factor de correcção para a idade.

Um estudo foi realizado na Cidade do México com o objectivo de verificar o efeito da altitude sobre a $FC_{máx}$ em 1853 indivíduos, sadios, e de ambos os sexos submetidos a teste ergométrico. Foram obtidos valores menores que os de referência para idades médias entre $47,6 \pm 13,6$ e $49,6 \pm 13,7$ (Lopez; Galan; Perez, 2000).

Segundo Tanaka et al. (2001), a equação (220 - idade) tende a subestimar os valores de $FC_{máx}$ previstos para as idades mais avançadas, como já foi referido, o que não foi verificado nesse estudo em função da idade da amostra. Porém, observou-se uma convergência entre os resultados obtidos no presente estudo com os apresentados por Tanaka et al. para a mesma faixa etária. Baseado nos resultados obtidos nesta pesquisa, verificou-se que a equação proposta por Tanaka et al. (2001) foi a que apresentou menor tendência, 18,03%, em superestimar a $FC_{máx}$, seguida pela equação desenvolvida por Jones et al. (1975), que apresentou tendência de 26,22%, enquanto a equação (220 idade) foi a que mais superestimou a $FC_{máx}$, 45,08%, sendo observado um desvio de ± 10 bpm para os resultados residuais.

A maioria dos testes sub máximos tem como referência o percentual da $FC_{máx}$

estabelecida pela equação (220-idade). Infere-se assim que grande parte dos testes apresenta um enfoque máximo ou quase máximo, em razão dos valores estabelecidos por essa equação indicarem tendência em superestimar a $FC_{m\acute{a}x}$. Este facto torna-se importante, quando observamos existir maior probabilidade de risco de acidentes no momento da avaliação física realizada em academias, o que normalmente não é observado em função das recomendações do ACSM (2003).

Outro ponto que deve ser ressaltado é o facto de que, no momento da prescrição dos exercícios aeróbios, segundo Forjaz et al. (1998), o programa de exercícios deverá ser adequado a cada indivíduo, o que passa a ser comprometido com a utilização de equações de estimativa (Barbosa, Oliveira, Fernandes, Fernandes Filho, 2004).

6.1.1 – A surpreendente história de “ $FC_{max} = 220 - idade$ ”, por Robert Robergs e Roberto Landwehr

A estimativa da Frequência Cardíaca Máxima (FC_{max}) foi uma característica relacionadas com fisiologia de exercício e ciências aplicadas desde o fim dos anos de 1930. A estimativa de FC_{max} foi basicamente baseada na fórmula: $FC_{max}=220-idade$.

Esta equação muitas vezes é apresentada em manuais sem explicação ou citação da pesquisa original. Além do mais, a fórmula e os conceitos relacionados estão incluídos na maioria dos exames de certificação dentro da medicina desportiva, fisiologia de exercício e aptidão física. Apesar da aceitação desta fórmula, pesquisas ao longo de mais de duas décadas revela o grande erro inerente à estimativa de FC_{max} ($S_{xy}=7-11$ bpm). Ironicamente, pesquisando a história desta fórmula torna-se claro que não foi desenvolvida por pesquisas originais, mas resultou da observação baseada em dados de aproximadamente 11 referências compostas de pesquisas publicadas ou compilações científicas inéditas. Consequentemente, a fórmula $FC_{max}=220-idade$ não tem mérito científico para ser usada em fisiologia do exercício e campos relacionados (Robergs, Landwehr, 2002).

Uma breve revisão de fórmulas alternativas de predição de FC_{max} revela que a maioria de equações de previsão baseadas na idade como variável única também tem grandes erros de previsão (> 10 bpm). Claramente, mais pesquisas de FC_{max} têm de ser feitas usando um modelo de multivariáveis, e as equações podem ter de ser

desenvolvidas tendo em conta aptidão, estado de saúde, idade e modalidades de exercício.

Devido ao interesse na melhoria da exactidão da estimativa de Frequência Cardíaca máxima, Robergs e Landwehr investigaram a origem da fórmula $FC_{max}=220$ -idade. Pelo que puderam determinar de livros e pesquisa, a primeira equação a prever $FC_{máx}$ foi desenvolvida por Robinson, em 1938. Os seus dados produziram a equação $FC_{máx} = 212 - 0.77$ (idade), que obviamente é diferente da fórmula largamente aceite de $FC_{max}=220$ -idade. Há numerosas equações de previsão FC_{max} , mas ainda assim é a história da $FC_{máx} = 220$ -idade a mais interessante.

Em manuais, o fracasso em citar a pesquisa original quanto à fórmula $FC_{máx} = 220$ -idade indirectamente afirma uma conexão a Karvonen. Esta associação existe devido à apresentação teórica de previsão $FC_{máx}$ com o conceito de uma reserva de frequência de coração, que foi desenvolvida por Karvonen. Ironicamente, o estudo de Karvonen não foi de $FC_{máx}$. Para clarificar, o doutor Karvonen foi contactado em Agosto de 2000 e a subsequente discussão indicou que ele nunca publicou a pesquisa original desta fórmula, tendo ele recomendado que se investigasse o trabalho do doutor Astrand para encontrar a pesquisa original.

Outra citação da fórmula é Astrand. Mais uma vez, este estudo não foi realizado visando a previsão de $FC_{máx}$. Foram capazes de discutir este tópico com o doutor Astrand em Setembro de 2000 enquanto ele esteve em Albuquerque para receber o seu Prémio de “Realização de Vida em Fisiologia de Exercício” da Sociedade Americana de Fisiologistas de Exercício. O doutor Astrand afirmou que não publicou nenhum dado que traduzisse esta fórmula. Contudo, ele realmente comentou que em apresentações passadas ele tinha afirmado que tal fórmula parece relacionada com resultados práticos, e seria um método conveniente a usar.

De maneira interessante, Astrand publicou dados de $FC_{máx}$ originais de 225 sujeitos (115 masculinos, 110 femininos) para idades entre os 4 e 33 anos num dos seus textos iniciais. Os dados são de passeira ou de testes ergométricos para VO_{2max} , sem conhecimento das características do protocolo usado. Usando dados para idades > 10 anos, há uma correlação significativa ($r=0.43$), ainda que com erro considerável ($S_{xy}=11$ bpm). A fórmula resultante é $FC_{máx} = 216.6 - 0.84$ (idade). Apesar da semelhança da equação de previsão $FC_{máx} = 220 -$ idade, a característica notável destes dados é o grande erro de previsão. De maneira interessante, em dois outros estudos,

Astrand encontrou que a média de redução de FC_{max} de mulheres foi de 12 batimentos em 21 anos e de 19 batimentos em 33 anos. Para homens, a redução da FC_{máx} foi 9 batimentos em 21 anos e 26 batimentos em 33 anos. Se a fórmula $FC_{máx} = 220 - \text{idade}$ é correcta, o declive da curva de decréscimo de FC com o aumento de idade seria 1. Além do mais, os dados de Astrand indicam que a previsão de FC_{máx} por esta fórmula não deve ser usada em crianças com 10 anos ou menos, pois a FC_{max} segue modificação associada a diferentes idades em crianças. Além do mais, a probabilidade que as crianças alcancem uma FC_{máx} verdadeira durante um exercício é questionável.

Parece que a citação correcta da origem de $FC_{máx} = 220 - \text{idade}$ é Fox et al.

Contudo, e como explicado por Tanaka et al., Fox não obteve esta equação a partir de pesquisa original.

Robergs e Landwehr avaliaram o manuscrito original de Fox et al., que foi uma grande revisão de dados relevantes para actividade física e doenças de coração. Numa secção intitulada "Intensidade", é apresentada uma figura contendo os dados relevantes, que consistem em aproximadamente 35 pontos. Nenhuma análise de regressão foi efectuada para estes valores, e os autores afirmam na legenda que:

“... nenhuma linha única representará apropriadamente os dados no declínio evidente da Frequência Cardíaca máxima coma idade. A fórmula Frequência Cardíaca máxima = 220 – idade em anos define uma linha não longe de muitos dos dados indicados. ”

Robergs e Landwehr decidiram duplicar a aproximação usada por Fox et al, usando os dados originais apresentados no seu artigo. Como não puderam encontrar todos os artigos devido a citações inexactas, ajustaram uma regressão linear ao conjunto de dados e obtiveram a seguinte equação: $FC_{máx} = 215.4 - 0.9147 (\text{idade})$, $r=0.51$, $S_{xy}=21$ b/min. Assim, até os dados originais a partir dos quais se estabeleceu que $FC_{max}=220-\text{idade}$ não apoiam esta equação.

Robergs e Landwehr, recuperaram a máxima pesquisa possível em FC_{máx}. Esta foi uma tarefa intimidante, pois tanto a pesquisa original como os estudos de revisão deste tópico não forneceram referências completas ou citações adequadas da pesquisa original. Coligiram 43 fórmulas de estudos diferentes, para verificar se houve uma tendência em direcção à equação $FC_{max}=220-\text{idade}$, seleccionaram 30 equações, as equações excluídas derivaram de sujeitos não-sãos. As equações foram usadas para recalculer a FC_{máx} para idades entre 20 e 100 anos, e uma nova equação de regressão foi calculada a partir dos dados. A equação de regressão produziu uma fórmula de previsão

$FC_{\text{máx}} = 208.754 - 0.734 (\text{idade})$, $r=0.93$ e $O_{Sxy}=7.2$, que está muito perto do conseguido por Tanaka et al..

De maneira interessante, Londeree desenvolveu a equação de estatística multivariável que usa variáveis de idade, idade^2 , $\text{idade}^4/1000$, origem étnica, modo de exercício, nível de actividade e tipo de protocolo usado para avaliar FC. Contudo, nenhuma justificação estatística relevante foi usada pelos autores para explicar a variação em FCmax utilizando um modelo de mutivariáveis. A mesma crítica se aplica ao estudo de Tanaka et al.. Como Zavorsky mostrou que o treino de endurance baixa a $FC_{\text{máx}}$, e outros mostraram que FCmax é dependente do tipo de exercício, um estudo original de $FC_{\text{máx}}$ utilizando variáveis múltiplas independentes já deveria ter sido realizado.

Os dados da pesquisa de $FC_{\text{máx}}$ são claros quanto ao erro de previsão de FCmax utilizando somente o declive e a intersecção em y quando a idade é a única variável independente. Além disso, os resultados de regressão e as equações têm de ser reconhecidas como sendo específicas do modo. Infelizmente, a especificidade de modo da previsão de equações de $FC_{\text{máx}}$ não é claramente descrita em manuais de fisiologia de exercício e prescrição de exercício. Finalmente, até um modelo de multivariável estatística de previsão da $FC_{\text{máx}}$ e explicação de variação não reduz o erro de previsão da $FC_{\text{máx}}$.

6.2 - Registo da frequência cardíaca

6.2.1 – Cardiófrequencímetro

Uma das formas mais eficazes de monitorizar e controlar os efeitos do treino é através da observação e registo da frequência cardíaca.

O controlo deverá ser efectuado por um equipamento próprio, o cardiófrequencímetro, que através de um sensor colocado no peito do praticante, envia para um receptor de pulso o valor da frequência cardíaca.

A sua utilização é importante, na medida em que permite que o exercício físico se realize de forma segura e controlada.

Por questões de segurança e objectividade, é importante que a frequência cardíaca, durante o treino, seja vigiada. Isto permitirá que o esforço da actividade física seja controlado e adaptado ao nível da condição física em que se encontra o indivíduo

(sedentário, activo ou vigoroso), e ainda que se trabalhe o maior tempo possível dentro das frequências cardíacas adequadas ao objectivo de cada um.

Para os corredores de distâncias longas a relevância da resistência cardiorespiratória é predominante, donde a utilização do cardiofrequencímetro para aferir da correcta intensidade e posteriormente para controlo do efeito de treino, se reveste de particular importância.

6.2.2 – Teste Ergométrico e Teste Ergoespirométrico

Teste Ergométrico - É um procedimento clínico, onde o paciente executa caminhada e/ou corrida em passadeira rolante (pode ser executado em bicicleta ergométrica, mas é menos frequente) e o objectivo é avaliar o funcionamento do coração através do electrocardiógrafo, um aparelho que regista as ondas eléctricas emitidas durante o funcionamento do coração. É uma avaliação extremamente importante e somente um médico cardiologista pode supervisioná-la. Através do teste ergométrico é possível investigar se o paciente apresenta alguma anomalia cardíaca que poderá colocá-lo em risco durante a actividade física. Além do electrocardiograma, monitoriza-se a pressão arterial em repouso e durante todo o teste, o que permite avaliar o funcionamento do sistema cardiovascular como um todo. Assim, é possível detectar respostas hipertensivas e outros tipos de problemas. Enfim, o teste ergométrico serve para avaliar a saúde e não o desempenho.

Teste Ergoespirométrico - Permite avaliar o potencial aeróbio e identificar as zonas ideais para treino aeróbio leve, moderado e máximo. Geralmente é executado simultaneamente com o teste ergométrico, através da utilização de um analisador de gases, o qual é acoplado através de uma máscara no rosto do paciente e possui um sensor extremamente sensível, que detecta inúmeras variáveis ventilatórias, como o consumo máximo de oxigénio, mais conhecido por VO₂max. Apesar de muitos acharem que o VO₂max é o dado mais importante obtido através da ergoespirometria, as informações mais relevantes para o atleta são o Limiar Ventilatório I (também conhecido por Limiar Anaeróbio) e o Limiar Ventilatório II (também conhecido por Ponto de Compensação Respiratória), pois indicam as zonas ideais para treino aeróbio.

Todavia, o VO₂max serve para que o atleta obtenha uma informação acerca de seu potencial para provas de longa duração. Uma vez que o VO₂max é fortemente

influenciado por factores genéticos, a sua medida pode elucidar ao atleta e ao seu treinador o nível máximo de desempenho que poderá ser obtido em corridas e provas.

De qualquer modo, fica claro que ambos os procedimentos são importantes e devem ser realizados, cada qual com sua utilidade. Actualmente diversos planos de saúde cobrem o custo do teste ergométrico e do teste ergoespirométrico e o ideal é ser avaliado a cada 6 meses, pois a saúde cardiovascular e o desempenho sofrem a influência de factores como stress, dieta, treino, etc.

7 – Conclusão

Tanaka et al, nos resultados obtidos do seu estudo, falham na validação da equação tradicional para predizer $FC_{máx}$ através da idade em seres humanos adultos sãos. Especificamente, a equação tradicional subestima $FC_{máx}$ após os 40 anos. Com base nos resultados de cruzamento da meta-análise e estudo complementar em perspectiva, apresenta-se uma nova equação de regressão para predizer a $FC_{máx}$, $208 - 0.7 \times \text{idade}$, para adultos sãos, para uso futuro que deve fornecer resultados mais exactos.

Esses resultados têm implicações clínicas importantes na prova de exercício e prescrição. A $FC_{máx}$ é predita, em grande escala, apenas pela idade e é independente do género e actividade física habitual.

Contudo, Camarda et al, refere que as equações de predição da $FC_{máx}$ propostas por Karvonen ($220 - \text{idade}$) e Tanaka ($208 - (0,7 \times \text{idade})$) são semelhantes para predição da $FC_{máx}$, de indivíduos do sexo masculino e feminino, com faixa etária de 12 a 69 anos, demonstrando boa correlação ($r = 0,72$) com a $FC_{máx}$ medida.

A medição da FC, que já era muito fácil há alguns anos, tornou-se mais simples ainda com a disponibilidade dos cardiofrequencímetro. Entretanto, para utilização dos valores de FC obtidos durante o treino é necessário o conhecimento da $FC_{máx}$ do indivíduo e da relação FC x VO. Para a estimativa da $FC_{máx}$ de indivíduos não-atletas foram desenvolvidas várias equações (Calvert, Bernstein, Bailey, 1977; Hossack, Kusumi, Bruce, 1981; Jones, 1975; Karvonen, Kentala, Mustala, 1957; Sheffield, Holt, Reeves, 1965), conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 5 – Equações de predição da frequência cardíaca máxima

Equação	Aplicação	Referência
$FC_{\text{máx.}} = 220 - \text{idade}$	Geral	Karvonen et al., 1957
$FC_{\text{máx.}} = 210 - 0,65 * \text{idade}$	Geral	Jones et al., 1975
$FC_{\text{máx.}} = 206 - 0,597 * \text{idade}$	Mulheres	Hossack et al., 1981
$FC_{\text{máx.}} = 205 - 0,41 * \text{idade}$	Homens Sedentários	Sheffield et al., 1965
$FC_{\text{máx.}} = 198 - 0,41 * \text{idade}$	Homens Activos	Sheffield et al., 1965
$FC_{\text{máx.}} = 201 - 0,60 * \text{idade}$	Homens	Calvert et al., 1977
$FC_{\text{máx.}} = 192 - 0,70 * \text{idade}$	Mulheres	Calvert et al., 1977
$FC_{\text{máx.}} = 209 - 0,70 * \text{idade}$	Homens	Universidade de Ball State
$FC_{\text{máx.}} = 214 - 0,80 * \text{idade}$	Mulheres	Universidade de Ball State

Finalmente, não existem dúvidas quanto à realização de mais pesquisas sobre equações de previsão de FC máx, envolvendo outras variáveis (estado de saúde, condição física e modalidade praticada).

Referências Bibliografia

- American College of Sports Medicine, ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 6th ed. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins, 2000.
- American College of Sports Medicine. Diretrizes do ACSM para os Testes de Esforço e sua Prescrição. 6 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 2003.
- Araújo CGS, Pinto VLM. Frequência cardíaca máxima em testes de exercícios em esteira rolante e em cicloergômetro de membros inferiores." Arquivo Brasileiro de Cardiologia; 85: 45-50, 2005.
- Barata, Themudo; e outros. Actividade Física e Medicina Moderna, Europress, Odivelas, Lisboa, 1997.
- Barbosa, F.P., Oliveira, H.B., Fernandes, P.R., Fernandes Filho, J. Estudo comparativo de equações de estimativa da frequência cardíaca máxima. Fitness & Performance Journal, v.3, n.2, p.108-114, 2004.
- Blair, S.N. et al. Prova de Esforço e Prescrição de Exercício. Rio de Janeiro -RJ, Revinter, 1994.
- Bland, J.M.; Altman, D.G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurements. The Lancet, v. 12, p. 307-310, 1996.
- Branco, F. C., Vianna, J. M., Lima, J. R. P. Frequência cardíaca na prescrição de treinamento de corredores de fundo. R. bras. Ci e Mov.; 12(2): 75-79, 2004.
- Calvert, A.F; Bernstein, L.; Bailey, I.K. Physiological responses to maximal exercise in a normal Australian population-comparative values in patients with anatomically defined coronary artery diseases. Aust. N.Z.J.Med.; 7: 497-506, 1977.
- Camarda, Sérgio RA; et cols., Comparação da Frequência Cardíaca Máxima medida com as fórmulas de predição Propostas por Karvonen e Tanaka, Arquivo Brasileiro de Cardiologia, 91 (5); 311-314, 2008.
- Cardoso, C. G. I; Forjaz, C. L. M. Comparação de Duas Formas de Predição da Frequência Cardíaca Máxima em Função da Idade: $220 - \text{idade}$ e $208 - 0,7 \times \text{idade}$, In: Simpósio Internacional de Ciência do Esporte: Atividade Física, Fiteness e Esporte, 24., 2001.

- Dantas, E.H.M. A Prática da Preparação Física. 4^a Ed. Editora Shape E Promoções Ltda, Rio de Janeiro - RJ, 1995.
- Fernandes Filho, J. A Prática da Avaliação Física, Teste, Medidas e Avaliação em Escolares, Atletas e Academias de Ginásticas, 2º ed. Rio de Janeiro Editora Shape, 2003.
- Fitzgerald MD, Tanaka H, Tran ZV, Seals DR. Age-related decline in maximal aerobic capacity in regularly exercising vs. sedentary females: a meta-analysis. J Appl Physiol.;83:160–165, 1997.
- Fox III SM, Naughton JP, Haskell WL. Physical activity and the prevention of coronary heart disease. Ann. Clin. Res.; 3: 404-32, 1971.
- Garganta R. Guia Prático de Avaliação Física em Ginásios, Academias e Health Clubs. Cacém: Manz Produções, 2005.
- Gibbons RJ, Balady GJ, Beasley JW, et al. ACC/AHA guidelines for exercise testing: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Exercise Testing). J Am Coll Cardiol.;30:260–315, 1997.
- Hossack, K.F.; Kusumi, F.; Bruce, R.A. Approximate normal standards of maximal cardiac output during upright exercise in women. Am. J. Cardiol. 1981; 47 : 1080-1086.
- Jerez, A. R. Adaptaciones Cardiovasculares al Ejercicio Físico. In J. G. Gallego (Ed.), Fisiología de la Actividade Física Y del Desporte, 175 -97, 1992.
- Karvonen JJ, Kentala E, Mustala O. The effects of training on heart rate: a longitudinal study”. Ann Med Exp Biol Fenn.; 35: 307-15, 1957.
- Leite, P.F. Exercício e o Coração. Belo Horizonte – MG, Health, 1997.
- Leite, P.F. Fisiologia do Exercício: ergometria e condicionamento físico de cardiologia desportiva. 4. Ed., São Paulo Robe Editora, 2000.
- Lester FM, Sheffield LT, Trammel P, Reeves TJ. The effect of age and athletic training on the maximal heart rate during muscular exercises. Am Heart J.; 76: 370-6, 1968.
- Londeree BR, Moeschberger ML. Influence of age and other factors on maximal heart rate. J Cardiac Rehabil.4:44 – 49, 1984.
- Londeree, B.R.; Moeschberger, M.L. Effect of and Other Factors on Maximal Heart Rate. Research Quarterly for Exercise and Sport. v. 53, n. 4, p. 297-304,

1982.

- Marins, J.C.B.; Giannichi, R.S. Avaliação e prescrição de actividade física - Guia prático. Rio de Janeiro, Shape, 1996.
- Marion, A.; Kenny, G.; Thoden, J. Heart Rate response as a means of quantifying training loads: Practical considerations for coaches. Sports.; 14 (2), 1994.
- Mesquita, A. et al. Frequência cardíaca máxima na prova de esforço 220 - idade ou tabela de Sheffield? Revista Portuguesa de Cardiologia, v. 15, n. 2, p. 139-144, 1996.
- Moreno, Armando. Anatmofisiologia – Tomo III, ISEF Centro de Documentação e Informação, Cruz Quebrada, Lisboa, 1984.
- Oliveira, H.B; Policarpo, F.B.; Bottaro, M. Estudo comparativo de equações de estimativa da frequência cardíaca máxima. In: Simpósio internacional de ciência do esporte: atividade física, fitness e esporte, 24, 2001.
- Policarpo FB, Fernandes Filho J. Usar ou não a equação de estimativa "220 - idade?". Rev. Bras. Cienc. Mov.; 12: 77-9, 2004.
- Policarpo, F.B.; Biazotto, J.R; Bottaro, M.M. Prescrição de exercícios físicos por meio da equação de frequência cardíaca de reserva. disponível em <http://www.efdeportes.com> Revista Digital, Buenos Aires, ano 8, n. 54, nov. 2002.
- Policarpo, F.B.; Bottaro, M.M. Precisão de equações de estimativa da frequência cardíaca máxima em homens jovens saudáveis. Anais do XXIII Simpósio Internacional de Ciência do Esporte. 89, 2000.
- Pollock ML. The quantification of endurance training program. In: Wilmore JH. Exercise and sports sciences reviews. New York: Academic Press; 155-88, 1973.
- Robergs, Robert; The Surprising History of the “HRmax = 220- age” Equation, Vol. 5, Nº 2, Journal of Exercise Physiology Online, Maio, 2002.
- Seeley, R.Rod; Stephens, Trent D.; Tate, Philip. Anatomia e Fisiologia, 1ª Edição, Lusodidáctica, Lisboa, Portugal, 1997.
- Tanaka H, Desouza CA, Jones PP, Stevenson ET, Davy KP, Seals DR. Greater rate of decline in maximal aerobic capacity with age in physically active vs. sedentary healthy women. J Appl Physiol.;83:1947–1953, 1997.

- Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age – Predicted Maximal Heart Revisited. J American College of Cardiology; 37:153-6, 2001.
- Taranto, Giuseppe; Paulo, Antonio F. D. Manual de Pesquisa das Directrizes do ACSM para os Testes de Esforço e sua Prescrição, 4ª Edição, Editora Guanabara Koogan S.A., Rio de Janeiro, Brasil, 2003.
- Vasconcelos TL. Comparação das respostas de frequência cardíaca máxima através de equações predativas e teste máximo em laboratório. Revista Brasileira, Prescrição Fisiologia do Exercício.; 1(2): 19-24, 2007.
- Whaley MH, Kaminsky LA, Dwyer GB, Getchell LH, Norton JA. Predictors of over-and underachievement of age-predicted maximal heart rate. Med. Sci. Sports Exerc.; 24 (10): 1173-9, 1992.
- Williams, Lippincott & Wilkins ACSM's. Guidelines for exercises testing and prescription”. 6th ed. Baltimore. p. 91-114, 2000.
- Wilmore JH, Costill DL. Fisiologia do Esporte e do Exercício. 2ª ed. São Paulo: Manole, 2005.

Web Bibliografia

- <http://www.wikaboo.com/noticias/detalhes.php?id=8> , 22:33h, 11/02/2009
- http://www.acsm.org/Content/ContentFolders/TopicsintheField/Fitness/ACSM_PUBLIC_INFORMATION___generating_interest__awareness__knowledge.htm, 23.45h, 20/02/2009
- http://www.planocorposdanone.com/txt_activ_equipamento.php, 23:04, 01/06/2009